华北山前平原农田关键带观测研究平台（栾城关键带观测平台）

沈彦俊[1,2*]　闵雷雷[1,2]　吴　林[1,2,3]　沈彦军[1,2]　李红军[1,2]　张广录[1,2]

1 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心　石家庄　050021
2 中国科学院栾城农业生态系统试验站　石家庄　050021
3 中国科学院大学　现代农业科学学院　北京　100049

摘要　中国科学院栾城农业生态系统试验站（以下简称“栾城站”）位于华北太行山前冲洪积平原的中段，是地下水灌区高产农业生态类型的典型代表。由于近几十年来大规模、高强度的农业生产，区域地下水超采严重，地下水污染风险加剧。然而，人类活动影响下的地表生态系统与地下含水层被厚包气带隔开，地表农业生产活动对地下水水量和水质的影响机理尚不明确。目前，开展贯穿整个包气带的原位监测试验，是揭示这一过程机理的唯一途径。因此，建立大型农田关键带观测平台，是开展农业与地下水关系研究的重要需求。在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目的支持下，栾城站建设的“栾城关键带观测平台”，通过对作物根系层—深层包气带—饱和带的土壤水、热、溶质等关键要素和变量的监测，可开展水分、溶质和污染物在厚包气带内的运移、转化规律研究，揭示饱和—非饱和过渡带水文过程及其与地下水补给关系，阐明农田生产活动的水肥迁移、转化及其对地下水量质变化的影响机制，为回答地表过程对地下水量质演化影响机理提供实验平台支持。

关键词　观测竖井，农田关键带，水-氮迁移过程，地下水量质管理

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20210407001

1 栾城关键带观测平台建设的目的和意义

1.1 平台建设背景与科学意义

华北平原因农业灌溉导致地下水严重超采，进而造成河道干涸、湖泊湿地萎缩等水系统破坏和区域性生态退化问题。在太行山前平原地区，第一含水层组已基本疏干，地下水开采成本逐年增加；而在东部低平原区，深层地下水超采也导致压力水头不断降低，

* 通信作者
资助项目：中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目（KFJ-SW-YW011）
修改稿收到日期：2021 年 4 月 7 日

甚至引发了严重的地面沉降等次生地质灾害。与此同时，浅层地下水硝酸盐浓度超标比例显著升高，地下水的农业面源污染风险日益加剧。

华北平原作为我国北方地区地下水超采最为严重的地区，其面临的水资源短缺、生态退化和经济继续发展压力也最为典型。目前，这一区域最大的国家需求是遏制地下水进一步超采和逐步恢复受损的生态环境，实现地下水资源的可持续利用，以支撑经济的增长和转型升级。在区域经济一体化发展和社会经济转型升级巨大需求的驱动下，华北平原的农业生产模式也亟待尽快转型升级，即由高产高耗水型农业模式向高效适水型农业模式转变。与此同时，我国西北和东北地区也由于不合理农业开发普遍引起地下水超采问题，正逐步显现与华北平原类似的地下水和生态问题。因此，研究华北平原地下水可持续管理的解决途径，可为我国北方其他地区日益凸显的地下水问题防治提供重要借鉴。

然而，对于过去的地表农业种植活动和未来转变模式对地下水量质的影响过程和机理尚未得到深入认识。贯穿整个包气带的原位观测试验是揭示这一过程机理的唯一途径。因此，在中国科学院野外站网络重点科技基础设施建设项目的支持下，中国科学院栾城农业生态系统试验站（以下简称“栾城站”）于2016年开始建设大型农田关键带观测平台“大埋深地下水-土壤-作物系统水分溶质循环试验观测平台”，建成了深度48 m、内径2.8 m的观测竖井，用以开展农业与地下水关系研究；并于2020年11月初完成验收，之后被正式定名为“栾城关键带观测平台”（LC-CZO）。通过对作物根系层—深层包气带—饱和带的土壤水、热、溶质等关键要素和变量的监测，该平台可开展水分、溶质和污染物在厚包气带内的运移、转化规律研究，揭示饱和—非饱和过渡带水文过程及其与地下水补给关系，阐明农田生产活动的水肥迁移、转化及其对地下水量质变化的影响机制，为回答地表过程对地下水量-质演化影响机理提供实验平台支持，为国家重度农业活动区地下水资源量质双控和可持续管理提供解决途径。

1.2 国内外同类装置情况

过去几十年，针对厚包气带水分与溶质运移的监测，国内外已经建设了相关研究设施。根据观测平台的建设方式和观测方式，现有设施可分为蒸渗仪式、钻孔式和竖井式3种类型。在国外的相关设施中，美国能源部[1]、美国爱达荷国家工程与环境实验室[2]和以色列内盖夫本·古里安大学[3,4]的平台最具代表性。美国能源部于1978年建设了深度达7.6 m，内径为2.7 m的蒸渗仪式观测平台，较为全面地分析了土壤水盐运移规律和地下水潜在补给量。美国爱达荷国家工程与环境实验室通过对张力计进行改进，将之应用于深度达73 m的基质势观测，建设了钻孔式观测平台，利用该平台分析深层土壤水分运动方向，估算地下水补给量，为核废料处置区的安全性评估提供数据支持。以色列相关领域专家发明了倾斜钻孔式土壤水分观测和土壤溶液采集装置，布设于深度达21 m的包气带，用于分析深层土壤水分运动方向，估算地下水补给量，揭示地下水补给机理。

据文献调研，国内在深层包气带方面的监测开始于20世纪80年代。位于河北省栾城县的栾城站于1985年修建了深度为12.5 m的竖井式包气带水分观测平台，利用观测竖井对土壤含水量和基质势展开了连续观测[5,6]。同时，河北省水文总站在太行山前平原的河北赵县建设了深度为20 m的竖井式监测平台，开展了土壤水分运动观测，分析包气带水分动态变化及运移特征，估算地下水补给速率[7,8]。2011年，栾城站又增设一处深度达9 m的竖井式观测平台[9-11]；同年，中国地质科学院水文地质与环境地质研究所在河北省正定县试验场开始了天然植被下包气带水分与溶质运移的竖井式观测平台（深度超过30 m）的建设[12]。基于上述平台，国内学者分析了华北山前平原典型灌

溉农田包气带水分动态变化特征和水分运移速率，初步阐明了该区域地下水垂向补给量及补给滞后时间，并对天然植被条件下的深厚包气带水分动态特征进行了分析。近年来，中国科学院水利部水土保持研究所等科研单位在黄土高原利用深埋式中子管（可视为钻孔式观测装置），开展了深层土壤和地下水的连续观测[13]。

总体来看，蒸渗仪式观测要素多，但观测深度有限，无法应用于厚包气带和地下水的观测；钻孔式建设成本相对较低，观测要素较为单一，且设施一旦损坏无法进行维护；竖井式建设成本相对较高，但观测要素多，易于维护，使用寿命较长。

由于地下水超采造成的地下水位加速下降，太行山前平原地区的包气带迅速增厚，加之栾城站现有的 2 个观测平台无法隔绝深层土壤与空气的气体和热量交换，无法满足深层土壤水文生物地球化学循环研究的要求，因此急需建设一个贯穿整个包气带的大埋深农田关键带观测设施及相关研究设施。综合考虑 3 种类型平台的优缺点，栾城站选择建设了竖井式观测平台。

2020 年 11 月，刘丛强院士在对栾城关键带观测平台现场验收时评价：“‘地球关键带’概念是 2001 年提出来的，该概念最大的科学价值在于强调了地球科学研究的系统性。地球关键带科学目前已深度融合了水文地质学、生态学、地理学、水文学、土壤物理学、地球化学等众多学科，是今后地球科学发展的一个重要方向。栾城关键带观测平台是国内第一个以‘关键带’命名的设施，开展从地表到地下水位的连续观测，是研究厚包气带水文-生物地球化学过程很好的、唯一的办法，中国科学院支持这类项目非常有远见。该平台不仅可以开展水、氮和溶质的运移转化规律，还可以开展气候变化背景下水文和生物地球化学循环方面的很多其他研究。建议主管部门做好长期的、稳定的支持，推动中国科学院相关网络台站的联合，发展区域尺度地球关键带科学研究。”

2 栾城关键带观测平台建设目标、难点及解决方案

2.1 建设目标

栾城关键带观测平台（图 1）可为根系层—厚包气带—饱水带的水、热与溶质运移过程提供直接的观测数据。竖井建设深度为 48 m，直径 2.8 m，可分层开展土壤物理、化学和生物过程关键要素和变量的监

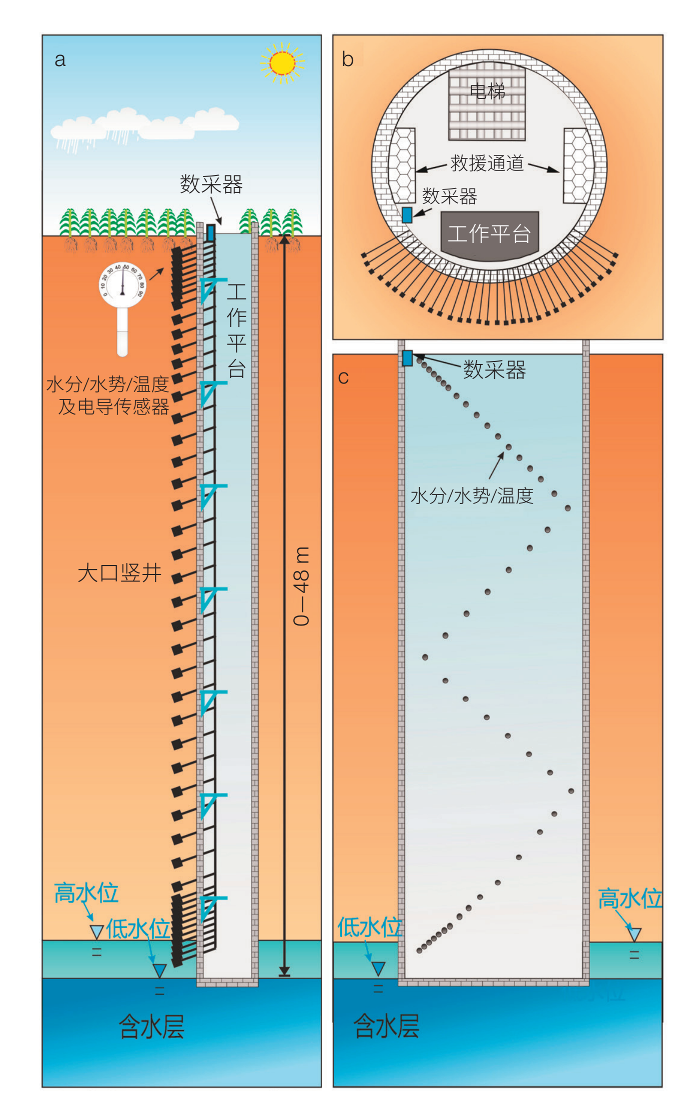


图 1　栾城关键带观测平台结构示意图

Figure 1　Schematic diagram of Luancheng Critical Zone Observatory (LC-CZO)

（a）纵剖面侧视图；（b）井口鸟瞰图；（c）纵剖面正视图

(a) Front view; (b) Top view; (c) Side view

测，可用于研究从作物冠层到地下水这一典型地球关键带水、热、溶质的运移和循环过程（包括农田水分从包气带到地下水的运动和补给过程及规律），以及氮素从地表到地下水的迁移和转化规律等。

2.2 建设难点与解决方案

栾城关键带观测平台在建设过程中的难点在于如何减少设施对监测环境的扰动；如何减少井筒施工过程对周边原状土壤的破坏；在施工完成后，如何最大程度降低设施的地面部分对监测环境的影响；以及如何确保观测数据的质量。

（1）*减少井筒施工过程对周边原状土壤的破坏。*竖井采用沉降法施工，分段压入土壤。为减少对周围土壤的干扰，施工全程采用在钢筒内人工挖掘的方法开展。钢筒分段长度为 2 m，在压入土体前，先在筒壁上开凿用于安装仪器探头的预留孔；每沉降一段后，焊接后续钢筒。钢筒内外均采用环氧富锌漆涂刷，提高防锈能力。在施工过程中，定期检查竖井的垂直度。施工完成后，竖井钢筒上端高出地面 1.3 m，下端最深处低于观测井底平台 0.5 m，井筒总长 49.8 m，最终形成的厚包气带观测剖面有效深度为 48 m；中心垂直偏差 8 cm，满足设计要求。为了减小井筒下压过程中筒壁与土层的接触阻力，将最下端钢筒下口加工成刀口形状，等间距安装刀齿；同时，在井筒外壁上安装导条，以进一步减小井筒外壁与土壤间的摩擦力，并可有效防止土壤塌陷。刀齿和导条在圆周上均匀分布；施工完成后，井筒外壁与周边土壤的缝隙由该层位土壤制备的泥浆填充。

（2）*降低设施对监测环境的影响。*施工期间井筒周边 4 m 范围内的地面用木板铺垫。在木板上铺设厚度约 40 cm 的土层，以减少施工过程中人员踩踏和设备、材料覆压等对周边土壤的夯实效应。建设完成后，井盖上安装通风设备，利用雨水导流系统，将雨水收集后导流至观测范围以外 20 m 处的道路旁边。井壁内安装隔热层（钢板与钢筒间隔 5 cm，填充发泡胶），隔绝土壤与外界的热量交换，最大程度地减少井筒内温度变化对深层土壤生物地球化学过程的影响。

（3）*确保数据监测质量。*为确保后期监测数据的质量，核心工作是做好传感器的筛选、一致性对比、标定、安装和维护等工作。根据平台所在区域的土壤特点和安装需求，综合考虑传感器的量程、精度、坚实耐用程度等方面的因素，确定了传感器的型号。安装之前，做好传感器的一致性对比，在同一水分条件下的土壤里，放置不同的传感器，分析传感器之间的数据差异，并根据序列号做好记录；根据已知的水分条件，对传感器进行分层标定。传感器的目标安装位置为内壁向外 1.5 m，这样可以最大限度地减少井壁对观测数值的干扰。每安装好一批传感器，应及时连接数据采集器查看数据，进行现场检验；经检验合格后，再安装下一批。后期应定时检查监测数据，针对异常数据及时排除故障，进行传感器的维护、检修或更新。

3 栾城关键带观测平台主要性能及指标

3.1 传感器的布设

选择井壁南侧 120° 范围的区域作为监测区（图 1）。井壁内共预留有 74 层传感器安装孔，每行有 4 个孔位，4 个孔位水平间距 0.3 m，每行安装孔相较于上一层水平偏移 0.3 m，传感器安装层间距随深度变化。在 0—2.0 m 深度范围内层间距为 0.2 m，在 2.0—4.0 m 深度范围内层间距为 0.4 m，在 4.0—10.0 m 深度范围内层间距为 0.6 m，在 10.0—44.0 m 深度范围内层间距为 1 m，在 44.0—47.2 m 深度范围内层间距为 0.2 m。

为保证日后长期试验的传感器安装需求，观测竖井内设置了传感器预留孔，未来可安装多种传感器并可以反复拆装。选用 DN100 不锈钢管作为仪器安装孔的套管，DN100 不锈钢管外径 114 mm、壁厚 4 mm、内径为 106 mm。在井壁上开孔并焊接不锈钢管，不锈

钢管端头装有法兰盘，法兰盘上安装防水接头，从而可将传感器引线接出。

3.2 监测指标及初步结果

栾城关键带观测平台的基础监测项目为土壤温度、含水量、电导率、基质势等农田关键带基础变量。该平台布设有预留孔，可为上述基础监测项目以外的变量监测（如氧气浓度、氧化还原电位等）提供平台。该平台共布设74层监测，监测深度同预留孔的深度。同时，井壁安装17层工作平台，用于开展仪器维护和土壤溶液提取。竖井内部安装电梯，用于日常监测工作和仪器检修。

栾城关键带观测平台建设过程中对厚包气带进行了分层采样，分析了土壤容重、含水量，以及土壤溶液的阴、阳离子浓度等指标。首次获得了从地表到含水层的整个厚包气带详细土壤理化性质数据，主要参数和变量的分布如图2所示。

初步分析结果显示，太行山前平原包气带岩性结构受沉积作用影响，砂性土层和黏性土层交替出现，控制着土壤水分的含量和水分向下运动的速率。前期研究证实，在灌溉农田条件下，根区以下土壤总水势梯度持续向下，土壤水分含量接近甚至略高于田间持水量，水分存在着持续向下运动的动力条件[9]。图2的原位采样数据显示，高浓度硝酸根离子锋面已运移至地表以下24 m深处，据此可粗略估算太行山前平原自农业大量施用化肥以来，水分自地表垂直入渗后的平均垂向运移速率约为0.6 m/a，该结果略低于此前根据9 m深观测竖井估算的结果（0.9 m/a）[10,11]，这可能与深层包气带黏性土层增多及存在较复杂的反硝化作用有关。农业面源污染物在厚包气带内的迁移速率和转化过程受土壤岩性结构组成、外部输入的水量及其动力条件和复杂的微生物地球化学过程控制，其复杂过程和机理有待于多学科领域的科学家利用栾城关键带观测平台进一步深入研究、阐明。

4 栾城关键带观测平台对相关学科领域的支撑作用

栾城关键带观测平台可原位监测从地面至地下水位波动带的水分、盐分、污染物的迁移转化过程，用于研究垂向上的物质传输土壤转化过程。该项目的建成可以实现对华北平原最具有代表性的种植类型（冬小麦-夏玉米轮作）农田关键带物质能量传输转化过程及其控制机理开展原位观测研究；可集成不同领域

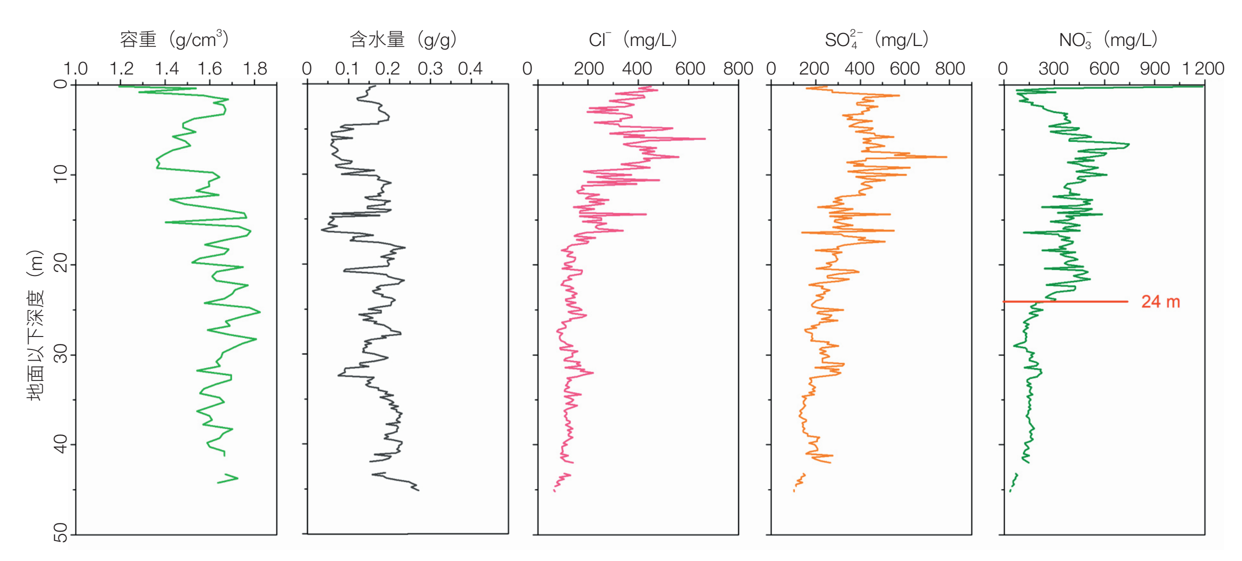


图2 太行山前平原典型包气带土壤容重、含水量和土壤溶液主要离子浓度分布

Figure 2 Distributions of bulk density, water content, Cl^-, SO_4^{2-}, and NO_3^- concentrations in whole vadose zone profile beneath a typical agricultural land in North China Plain

和对象的研究，从农学、土壤物理学家重点研究的根系层，到根系层以下的深层包气带，再到水文地质学家重点研究的饱和带，可以串联起不同学科的交叉研究；也可集成不同过程的监测研究，强调对关键带中发生的物理学、生物学、化学过程进行综合监测，未来可实现对地下水-土壤-作物-大气连续体（GSPAC）中碳（C）、氮（N）、磷（P）、硫（S）等元素的生物地球化学循环过程的研究。基于上述功能，栾城关键带观测平台将架起连接农田生态系统中短时间尺度、快反应、易观测的生态学过程研究与地下水量质演变相关的长时间尺度、慢反应、难识别的生物地球化学过程研究的桥梁，促进农学、土壤物理学、包气带水文学、土壤微生物学、水文地质学和生物地球化学等学科间的交叉研究和创新，从而为解决农业可持续发展和地下水量质管理领域前沿科学问题提供重要的支撑作用。

5 科学研究成效与未来计划

5.1 科学研究成效

（1）栾城站利用灌溉井改造的多个观测竖井（深度 9—12.5 m）开展农田关键带水、氮迁移过程及其驱动机制的观测、模拟和研究，定量研究了深层包气带水分和溶质运移过程，获得了新的认识，取得了重要研究进展，在相关领域权威期刊上发表了 10 余篇高质量论文[14-19]。

（2）栾城关键带观测平台能探测到地下近 50 m 的深层土壤，可以实现农业活动下土壤深层包气带到饱和带水、氮运移和土壤微生物的原位探测和实时监测，对解决农田关键带水分传输及水量再分配、包气带氮素迁移转化的生物地球化学机制等科学问题，启发了新的思路，提供了新的手段和方法。目前，基于栾城关键带观测平台，研究人员已获批国家自然科学基金重点项目“华北平原农田关键带水氮传输过程及其控制机制”，预期在农田关键带水、氮运移机理及农业生产活动对地下水量质变化的长远影响等方面取得进展。

（3）农业过度用水是我国北方地区生态退化的原因之一，发展适水农业的理论是区域可持续研究的重要学科需求。为此，栾城关键带观测平台在建设时设计了大型农田关键带科学研究综合设施，包括本设施 48 m 关键带观测竖井、大型室内土柱试验装置和大型水肥耦合蒸渗仪群（图 3）。

5.2 未来研究计划

大型农田关键带科学研究综合设施将拓宽研究领

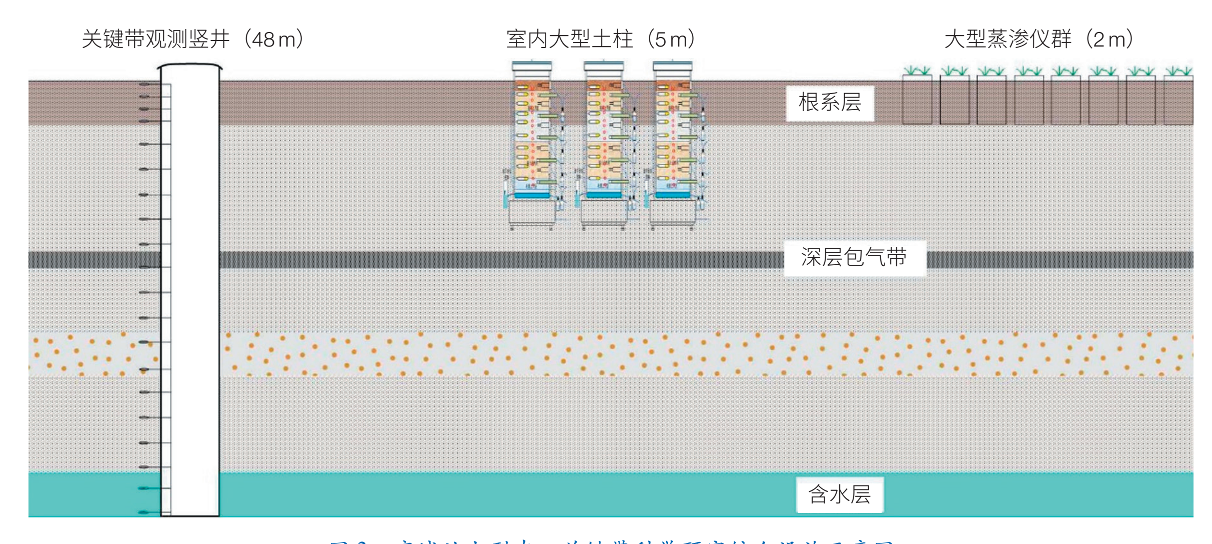


图 3　栾城站大型农田关键带科学研究综合设施示意图

Figure 3　Schematic diagram of agricultural critical zone observatories at Luancheng Station

域，系统回答地下水超采区农业适水发展和可持续发展需求的关键科学问题，是综合地学、农学和水资源科学等不同领域开展交叉研究的重大野外科学研究设施。未来拟通过与国内外多学科领域专家合作，共同为类似地区的农业可持续发展和地下水量质管理服务。

（1）建设大型室内土柱装置和大型蒸渗仪群。①大型土柱装置“厚包气带水盐运移机理大型试验土柱装置”。高度为 5 m，直径 50 cm，可装填不同地区的土壤，重点开展室内控制条件下根区以下水盐运移和污染物削减的控制试验研究（图 4）。拟建 18 套，已建成 3 套。② 大型蒸渗仪群“水-肥-作物耦合大型蒸渗仪群”（图 5）。由 36 个深度为 2 m，表面积 1 m^2 的蒸渗仪组成，其中 12 个蒸渗仪为称重式，24 个非称重式；其用于研究“作物-根层土壤系统”的作物（或牧草）在不同水肥调控下的生产力水平和水分养分平衡过程，定量不同农业种植模式下水分溶质淋失量及其对地下水量质的潜在影响，从而为筛选合理的适水农作模式提供科学数据，服务农业可持续发展。

（2）主要研究计划。未来将聚焦于根区以下水分和溶质（含污染物）迁移转化过程的研究，开展不同作物或牧草的水肥耦合种植模式和耗水、入渗过程及肥料迁移转化等问题，筛选适合栾城站区域气候特点的可持续农业种植模式。近期研究计划如下：① 持续开展深层包气带生物物理化学过程原位监测；② 水分、溶质和污染物在厚包气带内的运移、转化规律；③ 饱和—非饱和过渡带水文过程及其与地下水补给的关系；④ 农田施肥的氮素迁移、转化及淋滤对地下水质量的影响机制。

6 运行与管理办法

目前，栾城站成立了农田关键带观测平台运行管理委员会，制定了研究平台的使用规范和方法，明确了平台所有者、管理者、使用者和试验观测者的权利和义务，明确资料共享、数据交付与保密等原则，以及服务方式、内容、费用和成果等相关政策。平台运行管理委员会负责安排专人处理平台使用的申请，协调不同目的的试验者的使用顺序，设置专业观测工人负责仪器日常维护与数据采集，确保试验数据的准确性和科学性等；指定专人定期对平台内的仪器和设备进行检修和维护，负责平台的正常和安全运行。

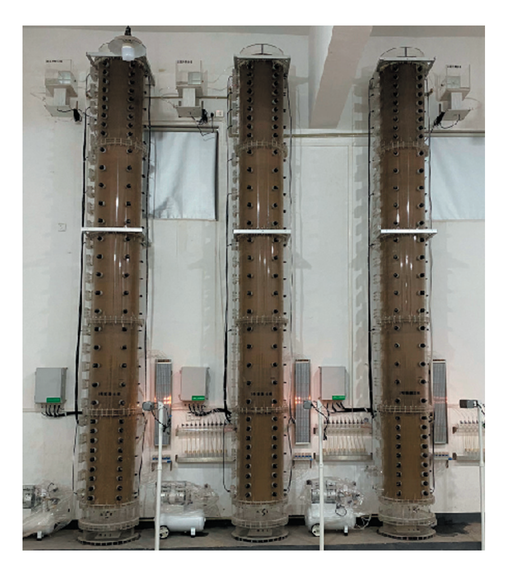


图 4　厚包气带水盐运移机理大型试验土柱装置

Figure 4　Large soil columns for vadose zone water/solution transport experiment

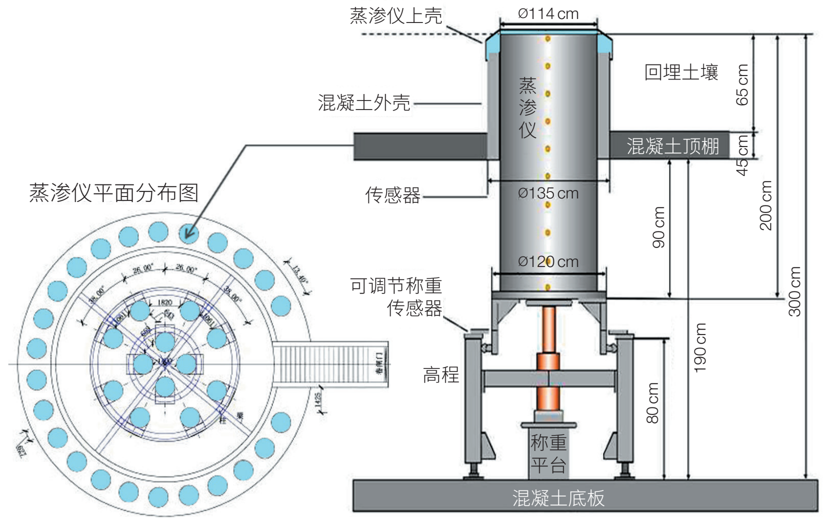


图 5　水 - 肥 - 作物耦合大型蒸渗仪群设计图

Figure 5　Structural design (right) and layout (left) of lysimeters group facility for water-fertilizer-crop coupling experiment

栾城关键带观测平台将面向国内外农田生态学、土壤学、栽培学、农田水文学、水文地球化学、包气带水文学与地下水科学及相关研究领域的科学家开放，采取试验站统筹管理、试验观测、数据获取、质量控制与交付的服务模式，建设成面向国内外开放、多领域立体试验的共同利用平台。

参考文献

1 Gee G W, Keller J M, Ward A L. Measurement and prediction of deep drainage from bare sediments at a semiarid site. Vadose Zone Journal, 2005, 4(1): 32-40.

2 Hubbell J M, Sisson J B. Advanced tensiometer for shallow or deep soil water potential measurements. Soil Science, 1998, 163(4): 271-277.

3 Dahan O, McDonald E V, Young M H. Flexible time domain reflectometry probe for deep vadose zone monitoring. Vadose Zone Journal, 2003, 2(2): 270-275.

4 Rimon Y, Dahan O, Nativ R, et al. Water percolation through the deep vadose zone and groundwater recharge: Preliminary results based on a new vadose zone monitoring system. Water Resources Research, 2007, 43(5): W05402.

5 沈彦俊, 刘昌明. 华北平原典型井灌区农田水循环过程研究回顾. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1004-1010.

6 Ju Z, Li X, Hu C. Water dynamics and groundwater recharge in a deep vadose zone. Water Science and Technology-Water Supply, 2016, 16(3): 579-586.

7 雷志栋, 杨诗秀, 倪广恒, 等. 地下水位埋深类型与土壤水分动态特征. 水利学报, 1992, (2): 1-6.

8 邱景唐. 山前平原包气带水分运移活塞流的研究. 水文地质工程地质, 1992, (1): 30-32.

9 景冰丹, 靳根会, 闵雷雷, 等. 太行山前平原典型灌溉农田深层土壤水分动态. 中国农业工程学报, 2015, 31(19): 128-134.

10 Min L, Shen Y, Pei H. Estimating groundwater recharge using deep vadose zone data under typical irrigated cropland in the piedmont region of the North China Plain. Journal of Hydrology, 2015, 527: 305-315.

11 Min L, Shen Y, Pei H, et al. Characterising deep vadose zone water movement and solute transport under typical irrigated cropland in the North China Plain. Hydrological Processes, 2017, 31(7): 1498-1509.

12 何雨江, 蔺文静, 王贵玲. 利用TDR100系统原位监测深厚包气带水热动态. 吉林大学学报（地球科学版）, 2013, 43(6): 1972-1979.

13 Wang Y, Hu W, Zhu Y, et al. Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China. Journal of Hydrology, 2015, 527: 543-554.

14 Min L, Qi Y, Shen Y, et al. Groundwater recharge under irrigated agro-ecosystems in the North China Plain: From a critical zone perspective. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(6): 877-890.

15 Chen S, Wang F, Zhang Y, et al. Organic carbon availability limiting microbial denitrification in the deep vadose zone. Environmental Microbiology, 2018, 20(3): 980-992.

16 Liu M, Zhang W, Wang X, et al. Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization. Agriculture Ecosystems & Environment, 2020, 294: 106885.

17 Wang S, Wei S, Liang H, et al. Nitrogen stock and leaching rates in a thick vadose zone below areas of long-term nitrogen fertilizer application in the North China Plain: A future groundwater quality threat. Journal of Hydrology, 2019, 576: 28-40.

18 Wang S, Hu Y, Yuan R, et al. Ensuring water security, food security, and clean water in the North China Plain — Conflicting strategies. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2019, 40: 63-71.

19 Min L, Shen Y, Pei H, et al. Water movement and solute transport in deep vadose zone under four irrigated agricultural land-use types in the North China Plain. Journal of Hydrology, 2018, 559: 510-522.

（相关图片见封三）

Functions and Applications of Critical Zone Observatory of Luancheng Agro-Ecosystem Experimental Station, Chinese Academy of Sciences (Luancheng Critical Zone Observatory)

SHEN Yanjun[1,2*] MIN Leilei[1,2] WU Lin[1,2,3] SHEN Yan-Jun[1,2] LI Hongjun[1,2] ZHANG Guanglu[1,2]

（1 Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

2 Luancheng Agro-Ecocystem Experimental Station, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

3 College of Advanced Agricultural Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China）

Abstract The Luancheng Agro-Ecosystem Experimental Station, the Chinese Academy of Sciences, is located in the piedmont plain area of North China Plain and the middle section of the Taihang Mountain alluvial plain. It is a typical representative of the high-yield agricultural eco-system in the groundwater irrigation area. Due to the large-scale and high-intensity agricultural production in recent decades, the regional groundwater has been seriously over exploited, and the risk of groundwater pollution has increased. However, the surface agro-ecosystem and aquifer are separated by thick vadose zones, hence the mechanism of the impact of surface agricultural activities on the quantity and quality of groundwater is still unclear. The *in-situ* monitoring throughout the entire vadose zone is the only method to reveal the mechanism of this process. Therefore, the establishment of a large-scale critical zone observatory is the most important requisite for conducting research on the relationship between agriculture and groundwater. With the support of the corner-stone research infrastructure project for the field station network of the Chinese Academy of Sciences, Luancheng Station began to construct the “Water and Solute Cycle Observation Platform in Groundwater-Soil-Crop System” in 2016, and the construction was completed in November 2020. An observatory caisson with a depth of 48 m and an inner diameter of 2.8 m has been built. The platform was officially named ‘Luancheng Critical Zone Observatory’ (LC-CZO). LC-CZO can measure the key variables such as soil water content, matric potential, soil temperature, and solute concentration in the root zone-deep vadose zone-saturated zone. The monitoring results enable the study on the patterns of the transport and transformation of water, solutes and pollutants in the thick vadose zone reveal the hydrological process of the saturated-unsaturated transition zone and its relationship with groundwater replenishment, explain the migration and transformation of nitrogen applied in farmland and its impact on groundwater quality, and provide experimental platform support for exploring the impact mechanism of land surface process on the groundwater quantity and quality.

Keywords observation caisson, agricultural critical zone, water-nitrogen transport, groundwater quantity and quality management (GQQM)

*Corresponding author



沈彦俊 中国科学院栾城农业生态系统试验站/河北栾城农田生态系统国家野外科学观测研究站站长，中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心副主任，中国科学院农业水资源重点实验室主任、研究员。长期从事农业水文学与水资源研究。发表SCI论文97篇，总被引7 000余次。获得河北省自然科学奖一等奖、中国科学院杰出科技成就奖（突出贡献者）、新疆自治区科技进步奖一等奖等多项科技奖励，荣获“全国优秀科技工作者”等称号。E-mail: yjshen@sjziam.ac.cn

SHEN Yanjun Director of Luancheng Agro-Ecosysmtem Experimental Station of Chinese Academy of Sciences (CAS) & Luancheng Agro-Ecosysmtem Experimental Station of National Observation and Research Station, Hebei Province, and Deputy Director of Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS. Dr. Shen is also Director of and Professor at the Key Laboratory of Agricultural Water Resources, CAS. He has long been focusing on the research in agricultural hydrology and water resources management. He has published 97 peer-reviewed papers indexed by SCI, with over 7000 citations. He has won many awards including the First Prize of Natural Science Award of Hebei Province, the Outstanding Science and Technology Achievement Prize of CAS (Outstanding Contributor), and the First Prize of Science and Technology Advancement Award of Xinjiang Autonomous Region. He was also awarded as National Outstanding Scientific and Technical Researcher by China Association for Science and Technology. E-mail: yjshen@sjziam.ac.cn

■责任编辑：张帆